



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

**PAVIMENTOS DE LOSAS CORTAS DE CONCRETO
PARA VÍAS TERCIAS EN COLOMBIA**

JOSÉ DANIEL ORDOÑEZ

2015

PAVIMENTOS DE LOSAS CORTAS DE CONCRETO PARA VÍAS Terciarias EN COLOMBIA

SHORT FLOOR CONCRETE SLABS FOR TERTIARY ROADS IN COLOMBIA

José Daniel Ordoñez Valencia

Ingeniero Civil – Ingeniero Auxiliar

Consorcio Intervías 4G

Bogotá, Colombia

Josedaniel_164@hotmail.com

Fecha de Recepción: 02-12-2015

Fecha de Aprobación: 04-12-2015

RESUMEN

Los altos costos de construcción y mantenimiento de vías, los costos de operación y mantenimiento del parque automotor y la necesidad de contar con corredores viales que permitan una cómoda transitabilidad a los usuarios, impone la búsqueda de nuevas alternativas para la construcción de pavimentos, en vías terciarias en Colombia, duraderas y de bajo costo, lo que conduce a la implementación de una nueva metodología de diseño de pavimentos de concreto, conocida como pavimentación de losas cortas. Este método, que de acuerdo con el análisis que se plantea en el presente artículo, supera, tanto económicamente como técnicamente, las bondades de alternativas de diseños ampliamente utilizadas en el país, tales como: placa huella, suelo cemento y afirmado, de igual manera los pavimentos con losas cortas permiten reducir de manera significativa los espesores de diseño y el mejoramiento de la geometría de las mismas integrando para su modelación los parámetros de la guía de diseño AASTHO 2007, que considera las condiciones particulares de cada proyecto, tales como el clima, el tráfico, las características de cada capa y la caracterización de los agregados que conforman la estructura de soporte. La nueva metodología diseña losas de concreto que son en promedio 7cm. más delgadas en relación con el diseño tradicional de pavimentos AASHTO (1993), razón por la cual se obtiene una reducción importante en los costos de construcción.

Palabras Clave: Losas, concreto, pavimentos.

ABSTRACT

The high costs of road construction and maintenance, operating costs and maintenance of the fleet and the need for road corridors that allow comfortable transportation of users, imposes the search for new alternatives of the construction of pavements, in tertiary roads in Colombia, durable and low cost, leading to the implementation of a new methodology of concrete pavement design, known as short paving slabs. This method, according to the analysis that arises in this Article, exceeds, both financially and technically, the benefits of alternative designs widely used in our environment, such as board footprint, soil cement and affirmed, equally pavements with short slabs reduces significantly the thickness and improving design geometry thereof considering the parameters AASHTO 2007 design guide, which considers the specific conditions of each project, such as weather, traffic, characteristics of each layer and the characterization of the aggregates that make up the support structure used. the new methodology designed concrete slabs that are on average 7cm. more slender in relation to the traditional AASHTO pavement design (1993), why an important reduction in construction costs is obtained

Keywords: Slabs, concrete, pavements.

INTRODUCCIÓN

La construcción de pavimentos con losas cortas, es una alternativa altamente eficiente desde el punto de vista de costos (por disminución de espesores y menores requerimientos de capas estructurales de apoyo), duración y estabilidad, lo cual hace de éste, un tipo de pavimentación como alternativa viable en las vías terciarias de nuestro país.

Dicho tipo de pavimentación tiene su origen en Chile, donde a través de la empresa TCPavements se llevó a cabo la patente de éste diseño de losas cortas junto con el software que adecúa el diseño a las geometrías optimizadas mediante la teoría mecanicista [1].

Recientemente en Colombia, entre la vía el Salado y Carmen de Bolívar, con un tramo de 14km, se lleva a cabo un proyecto de pavimentación con losas cortas, cuyo objetivo principal es el de determinar el efecto que su uso produce en los pavimentos del país, con el fin de demostrar su eficiencia. Se espera que dados los resultados, el método sea aplicado de manera confiable en otras vías del país.

Éste proyecto a su vez, incluye un análisis económico comparativo de diversas alternativas de pavimentación de vías terciarias, como métodos de afirmado, placa huella, suelo cemento, estabilización con cemento y aditivo, suelo cemento frente a losas cortas.

De acuerdo con dicho análisis, se concluye que el primer lugar lo obtiene la pavimentación con losas cortas, convirtiéndose en consecuencia, en una nueva alternativa de construcción y/o rehabilitación de vías, por su menor costo y durabilidad frente a otras metodologías, desplazando a la placa huella que hasta hace poco tiempo figuraba como la opción más favorable [2].

El proyecto mencionado anteriormente reporta los parámetros básicos del diseño de las losas cortas, partiendo de una teoría de cargas distribuidas por losa, el cual busca que cada losa sea cargada máximo por un par de ruedas y no por un eje completo, como ocurre en las losas convencionales [3]; criterio que logra reducir las dimensiones en sentido longitudinal y transversal y a su vez que los espesores sean reducidos.

Adicionalmente, este artículo contiene información técnica de las losas cortas y los parámetros de diseño que comprende este tipo de pavimento, así como el análisis económico que representa esta técnica de construcción en las vías terciarias de Colombia y un caso de losas cortas construido en Chile, con el que se busca mostrar el buen comportamiento de esta técnica a lo largo de varios años.

1. DISEÑO DE LOSAS CORTAS

Las losas cortas tienen tres aspectos fundamentales incluidos en sus parámetros de diseño: Las tensiones y los alabeos en las losas de concreto, la configuración de las cargas para el análisis de las tensiones y el efecto de la rigidez de la base.

1.1 TENSIONES Y ALABEOS EN LAS LOSAS DE CONCRETO.

Según Covarrubias [3], normalmente, los pavimentos de concreto convencionales son de 3,5m a 6 m de largo, los ejes delanteros y traseros aplican carga simultáneamente cerca de las juntas transversales. Esta posición de la carga, induce tensiones de tracción superficiales en la parte superior del pavimento, especialmente cuando la losa presenta alabeo hacia arriba. Si las secciones se cortaran de manera tal que la longitud de la losa resulte en que ni los ejes delantero ni trasero estén simultáneamente sobre la misma sección de la losa, las fuerzas de tracción se reducen significativamente en la losa. Las tensiones y deformaciones como se muestra en la Figura 1 se basan en un espesor de 20 cm de concreto, 1500 kg de carga, y un diferencial de -15°C de temperatura.

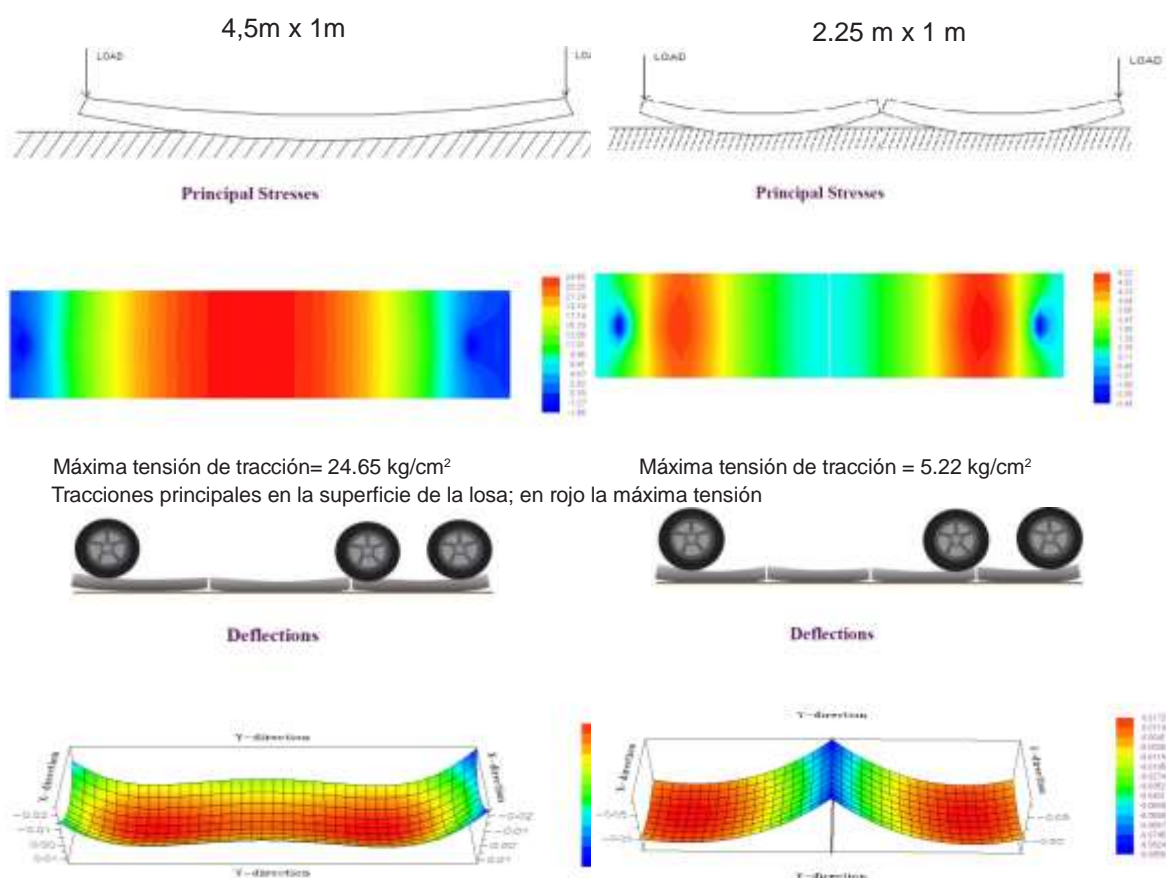


Figura 1. Comparación de la tensión de tracción de una losa cargada mecánica y térmicamente entre una de 4,5m y 2.25, de longitud.

Fuente: Adaptado de diseño de losas de hormigón con geometría optimizada, 2012 [3].

1.2 CONFIGURACIÓN DE CARGA PARA ANÁLISIS DE TENSIONES

De acuerdo con Covarrubias [3], para reducir la tensión de tracción superior causada por la carga simultánea de la losa por ejes de dirección, es necesario dimensionar la losa de tal manera que cada rueda, o un conjunto de ruedas, siempre cargue una sola losa diferente, tal como se muestra en la Figura 2. Como existen diferentes tipos de configuraciones de ejes de camiones, la geometría está diseñada para el tipo de camión que tenga el eje más crítico en la utilización de la carretera. La reducción de tensiones de tracción en la parte superior de la losa permite una vida útil más larga y una reducción en el espesor de la losa en relación con el diseño de pavimentos de concreto convencional. Se utilizó el programa de diseño de elementos finitos ISLAB2000 para construir un modelo de tensiones que muestre el beneficio de reducir las dimensiones y espesor de la losa, lo que se muestra en la Figura 2. Para la configuración de tensiones, se utilizó los siguientes parámetros, 55MPa/m para el valor k, un diferencial de temperatura de -14°C , rigidez del concreto de 290.000 kg/cm^2 , coeficiente de Poisson de 0.25, y el coeficiente de expansión térmica de $1 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}$.

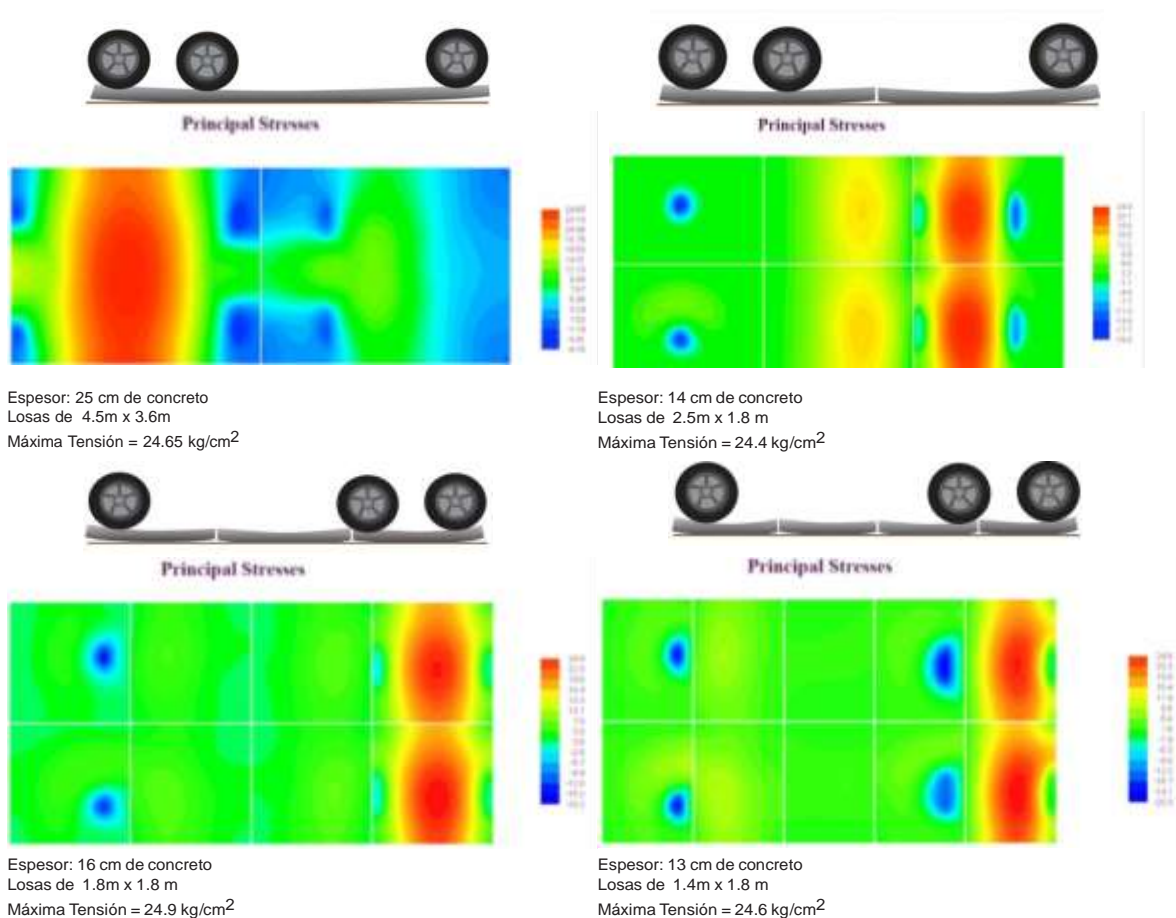


Figura 2. Comparación entre la dimensión y espesor de losas para tensiones máximas equivalentes en la superficie.

Fuente: Adaptado de diseño de losas de hormigón con geometría optimizada, 2012 [3].

El programa computacional de diseño llamado OptiPave [1], optimiza el espesor y la geometría de cada losa para cualquier conjunto de clima, materiales, y tráficos. En primer lugar, el tamaño de la losa es seleccionado de tal manera que sólo un juego de ruedas se encuentra cargando cada losa, típicamente entre 1,4 m a 2,5 m. Las tensiones se calculan en la parte superior e inferior de la losa, para diferentes condiciones de entrada, es decir, espesor, alabeo, tráfico, tipo de eje, etc. y diferentes configuraciones de carga, como se muestra en la Figura 3.

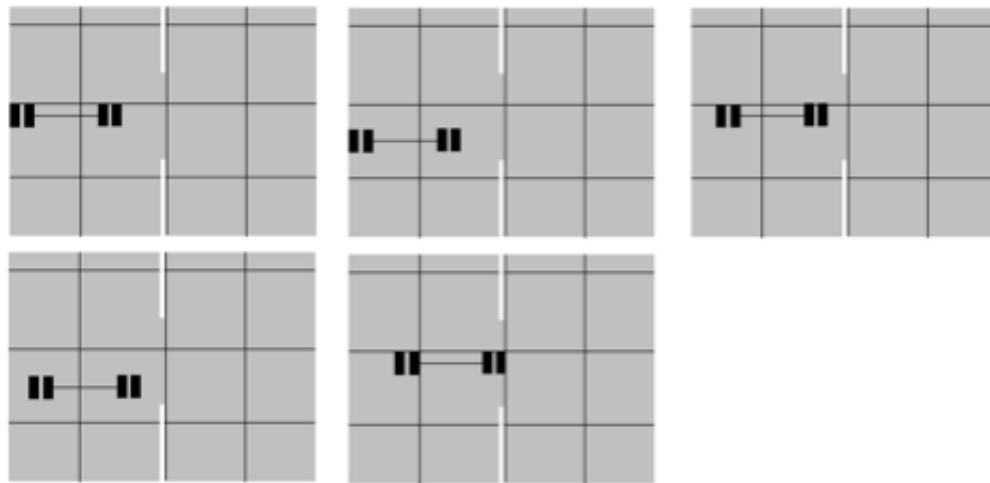


Figura 3. Posiciones de carga consideradas por las losas como tensiones de tracción críticas.

Fuente: Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada, 2012 [3].

Según Eskel Hiller [4], basado en la máxima tensión de tracción, se calcula el número de pasadas en cada condición N_{ijkl} , para cada posición de carga con base en la ecuación de fatiga ME-PDG [5]:

$$\log(N_{ijkl}) = 2 \times \left(\frac{C_3 \times \sigma_{ijkl}}{MOR \times C_1 \times C_2} \right)^{-1.22} \quad (1)$$

N_{ijkl} : Pasadas permitidas para eje en la posición k, alabeo i (temperatura), nivel de carga j, y tensión crítica en la parte superior e inferior

σ_{ijkl} : Tensiones principales calculadas con ISLAB2000 para ejes en la posición k, alabeo i y carga j, y tensión crítica en la parte superior e inferior

MOR : Resistencia a la flexión del concreto a los 90 días

C_1 : Factor de corrección por geometría de la losa y su espesor

C_2 : Factor de corrección estructural de fibra.

C_3 : Factor de corrección de carga perimetral

Las investigaciones realizadas por Miner [6], en 1945 permitieron el desarrollo de los modelos de daño acumulado para poder predecir el fallo por fatiga. Utilizando la hipótesis de Miner, el daño por fatiga para cada posición es determinado en la parte superior e inferior de la losa sobre la base de la siguiente fórmula:

$$FD_k = \sum_i \frac{n_{ijk}}{N_{ijk}} \quad (2)$$

Dónde:

FD_k : Daño por fatiga para una posición determinada del eje k.

n_{ijk} : Número de pasadas para la tensión local, para condición i,j,k.

N_{ijk} : Número de pasadas permitidas para la tensión local, para condición i,j,k.

Según Eskel Hiller [4], el porcentaje de losas agrietadas se determinan para el 50% de confiabilidad en cada posición, superior e inferior, basados en la metodología ME- PDG [5] de la siguiente manera:

$$\%Crack_{kl} = \frac{1}{1 + FD_{kl}^{-1.98}} \quad (3)$$

Dónde:

$\%Cracks_{kl}$: Porcentaje de losas agrietadas en posición del eje k.

FD_{kl} : Daño por fatiga con eje en la posición k y ubicación de esfuerzo l

Combinando el agrietamiento desde cada posición para determinar el total de fisuras en el pavimento para el 50% de confiabilidad:

$$Tcrack_l = MAX(\%Crack_{kl}) \quad (4)$$

$$TTCracks_{50} = Tcrack_{si} + Tcrack_{ss} - Tcrack_{si} \times Tcrack_{ss} \quad (5)$$

Dónde:

$TTCracks_{50}$: Porcentaje total de losas fisuradas, 50% de confiabilidad.

$Tcrack_{si}$: Porcentaje losas fisuradas desde la superficie.

$Tcrack_{ss}$: Porcentaje losas fisuradas desde parte inferior.

Según Eskel Hiller [4], la confiabilidad es determinada con la misma metodología que el ME-PDG [11] y se presenta a continuación:

$$TTCracks_m = TTCracks_{50} \times Z_r \times S_e \quad (6)$$

$$S_e = (5.3116 \times TTCracks_{50}^{0.3903}) + 2.99$$

Dónde:

$TTCracks_m$: Porcentaje losas agrietadas, m % confiabilidad.

$TTCracks_{50}$: Porcentaje total de losas agrietadas, 50% confiabilidad.

Z_r : Coeficiente normal estándar para un nivel de confianza dado.

S_e : Error estándar.

1.3 EFECTO DE LA RIGIDEZ DE LA BASE

De acuerdo con Covarrubias [7], Al alabearse la losa y levantar sus bordes, su apoyo en la base es un círculo, como se muestra en la figura 4 y 5, cuya dimensión depende de la rigidez de la base. Si la base es muy rígida, el círculo será pequeño y los voladizos largos. Esto, cuando la losa es cargada por un camión, genera tensiones de tracción altas en la cara superior. Caso contrario, si la base es muy poco rígida, el círculo rojo será mayor y el largo del voladizo menor, por lo tanto, en este caso las tensiones de tracción en la cara superior serán menores, pero, cuando el camión carga el centro de la losa, aumentarán las tensiones de tracción en la cara inferior.

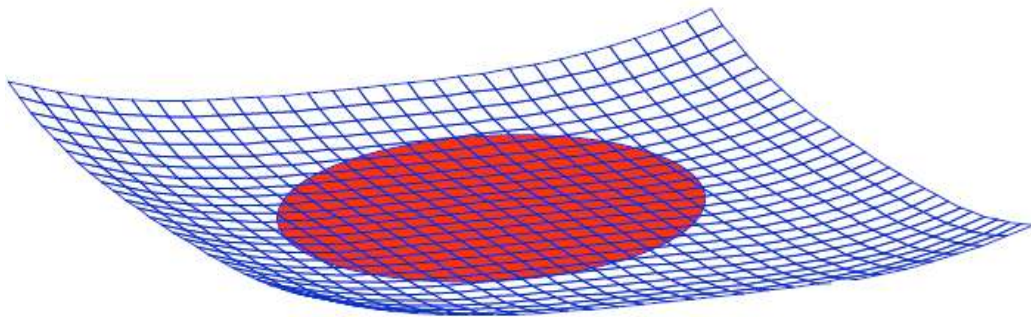


Figura 4. Deformación medida en un pavimento de 15 cm de espesor.

Fuente: Pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 2007 [7].

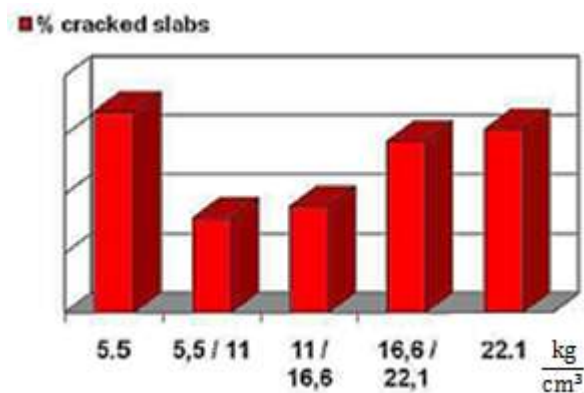


Figura 5. Rigidez en función de la base con respecto al porcentaje de losas agrietadas.

Fuente: Adaptado de pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 2007 [7].

2. ALABEO DE CONSTRUCCIÓN

Según Covarrubias [7], el alabeo de construcción se genera por una fuerza en la parte superior de la losa. Esta fuerza se debe al secado y la pérdida de calor en la superficie de losa. Esta fuerza que produce el alabeo se genera en las primeras horas después de endurecerse el concreto, y es producida por un gradiente hídrico y térmico superficial. La retracción hidráulica superficial se produce por la diferencia de humedad en la parte superior e inferior de la losa, la cual siempre se encuentra más húmeda en la parte inferior, esto se debe a que la humedad de la tierra se condensa en la losa. La retracción térmica en la superficie se debe a la temperatura inicial del concreto y al calor de hidratación producido por la reacción del cemento, la losa se enfría por la superficie para llegar a su temperatura normal. Esta deformación se produce mientras el concreto se endurece, por lo que retiene esta forma permanentemente, el alabeo de construcción es permanente y se puede medir cuando el gradiente térmico real es cero. En Chile se midió, y se comparó con un gradiente térmico equivalente el cual fue de $-17,5^{\circ}\text{C}$. El mayor gradiente térmico real fue medido a medio día y fue de $+19^{\circ}\text{C}$. Ya que ambos alabeos están medidos en $^{\circ}\text{C}$ se pueden sumar. Se aprecia que la suma en el peor caso es de $+2^{\circ}\text{C}$. Esto significa que la losa está casi siempre con las puntas hacia arriba y en solo algunos momentos plana. Esta fuerza que produce el alabeo depende del largo de la losa, por lo tanto losas pequeñas tienen menos alabeo. Además losas más cortas tendrán menos brazo de palanca, lo que reduce las tensiones superiores. Las losas se alabean con un tercio de su longitud levantada del suelo, es decir en voladizo, se puede deducir que el largo del voladizo para una losa de 4,5 metros es de 1,5 metros. Si la losa tiene un largo de 1,8 metros el voladizo será de 60 centímetros. Se puede apreciar que con el solo hecho de acortar las losas las tensiones de tracción disminuyen en forma considerable, como se muestra en las figuras 6 y 7.



Figura 6. Losa normal AASHTO 4.5m Voladizo de 1.5m

Fuente: Pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 2007 [7].



Figura 7. Losa corta 1.8m, Voladizo 0.6m

Fuente: Pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 2007 [7].

El resultado de estas fuerzas es que mientras más grande es la losa mayor será dicha fuerza y por lo tanto mayor el alabeo. En la figura 8, se pueden apreciar las diferentes deformaciones (alabeo) entre los distintos tamaños de losa. Además se calcularon las tensiones por peso propio que estas deformaciones generan en la losa. Se puede apreciar que losas de menos de 3m. de dimensión tienen un alabeo considerablemente menor y por lo tanto las tensiones generadas son menores [7].

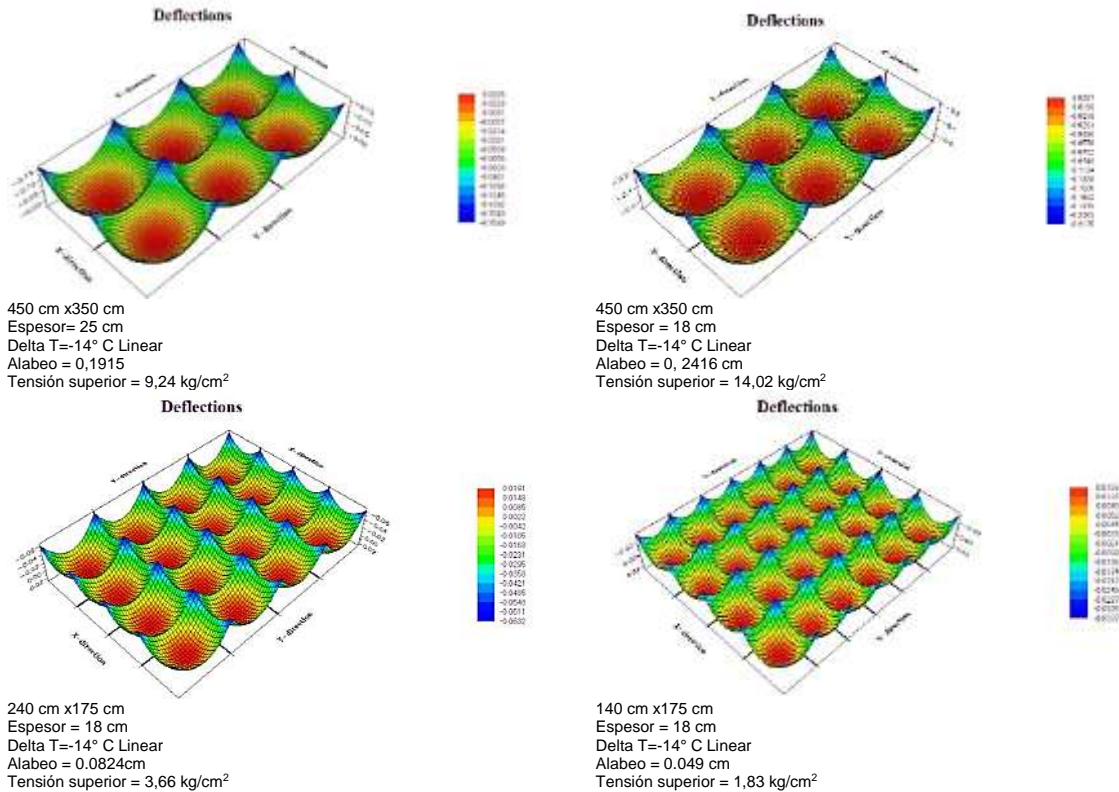


Figura 8. Alabeo y tensiones, comparación entre diferentes tamaños de losa y espesores.
Fuente: Adaptado de pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 2007 [7].

3. MODELACIÓN SUELO

Según Covarrubias [7], Otro aspecto importante en el diseño de las losas cortas es la modelación del suelo. Siempre se ha considerado que la losa de concreto es suficientemente resistente para soportar las cargas de los vehículos y no tener tensiones por punzonamiento (parte inferior de la losa). En este caso de losas gruesas, es preferible utilizar bases blandas (CBR 20%-50%) para mejorar el apoyo de ésta en el suelo y disminuir el voladizo. Al usar el diseño de losas cortas, los brazos de palanca en la losas son menores, esto debido a que el diseño optimiza el tamaño de la losa para que esto ocurra. El resultado como se explicó anteriormente, es una losa más delgada donde la tensión principal se encuentra en zona inferior justo debajo de la rueda. Una base rígida colabora con la losa para tomar parte de esta carga y reducirá las tensiones en la parte inferior. El diseño se puede considerar como un pavimento semi-flexible. En figura 9 se muestra la diferencia entre espesores de 10cm y 20cm.

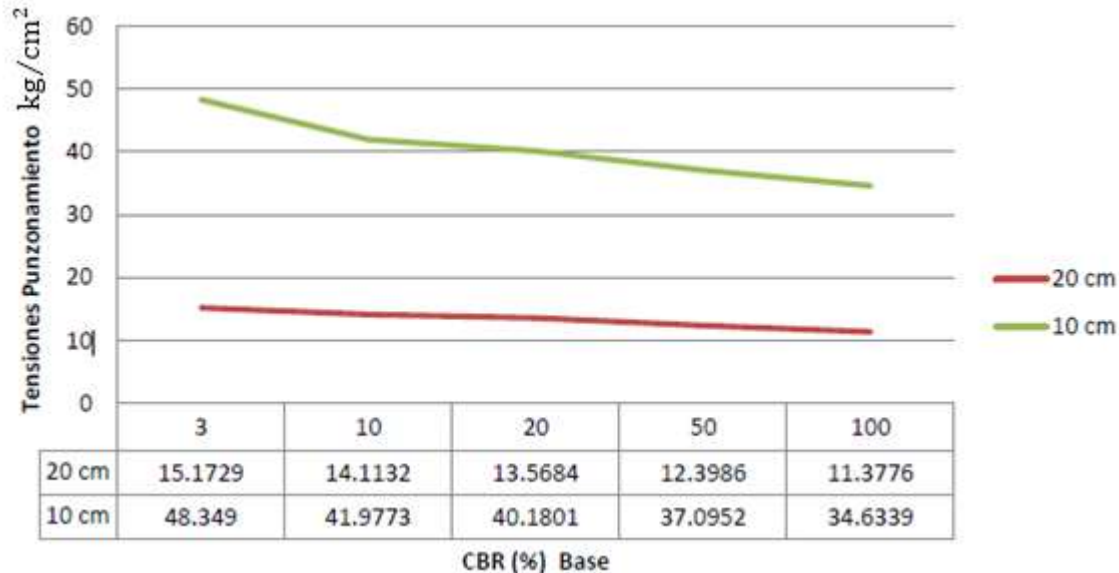


Figura 9. Diferencia entre losas de 10cm y 20 cm Corridas en ISLAB2000.

Fuente: Adaptado de pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 2007 [7].

4. SERVICIABILIDAD (IRI) Y ESCALONAMIENTO

Según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia, la rugosidad se define como alteraciones del perfil longitudinal de una vía, que provocan vibraciones en los vehículos que lo recorren. Es la desviación de la superficie respecto a una superficie plana, con dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al andar. Se mide con el indicador denominado Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual se expresa en m/km, mm/m o pul/milla [8].

El IRI obtenido luego de la construcción de los pavimentos de losas cortas de concreto, debe ser similar al de un pavimento de concreto convencional, el cual depende principalmente del equipamiento y habilidad del contratista. Por otra parte, el IRI puede estar afectado de forma drástica por alabeos y deformaciones lo que se debe reducir con una menor longitud de la losa.

Según Covarrubias [3], uno de los aspectos principales para tener en cuenta con el diseño de losas cortas, es la posibilidad de escalonamiento en el largo plazo. El diseño, dada sus características, reduce las probabilidades de que esto suceda, debido a las siguientes razones:

Los pavimentos con diseño de diseño optimizado tienen alrededor de un quinto del alabeo con respecto a un pavimento tradicional. Esto debido al menor tamaño de losa. Como el alabeo es menor el escalonamiento y el IRI también lo son.

Los pavimentos de losas cortas, usan bases con menos de 8% de fino. Esto hace que los agregados grandes estén en contacto entre ellos, por lo que al remover los finos en el caso de presencia de agua, no exista un cambio volumétrico y por lo tanto no exista una pérdida de soporte. Esto evita que se produzca bombeo y que

por lo tanto se alteren las condiciones de la base. Como se reduce la erosión en la base, se disminuye drásticamente el escalonamiento.

Las losas son de menor tamaño, lo que genera apertura de la grietas bajo los cortes de menor espesor. Estas grietas tienen una mejor transferencia de carga, lo que disminuye el escalonamiento.

Para el tráfico bajo y medio, el escalonamiento no es un problema esperado por los motivos antes mencionados. Cuando el tráfico es alto con muchos ciclos de carga, se puede diseñar una solución de 2.3 metros de largo de losa y barras de transferencia de carga en lugares estratégicos en caso de que exista riesgo de escalonamiento a largo plazo.

5. ALTERNATIVAS PARA VÍAS TERCIARIAS

El proyecto vial que comunica al municipio del Salado con Carmen de Bolívar, tiene dentro de sus aspectos importantes, la construcción de 14km con la técnica de losas cortas, por parte de la empresa Argos S.A., tramo que actualmente se está construyendo y con el que se busca conectar este municipio del país (el Salado), con Carmen de Bolívar.

Para este proyecto la Asociación Colombiana de productores de concreto (comunicación personal, septiembre de 2015), realizó una comparación de las diferentes alternativas de pavimentos para la construcción de vías terciarias, encontrando que las losas cortas son favorablemente más económicas que las otras alternativas de mejora y el diseño de vida útil es mucho mayor.

5.1 AFIRMADO

Capa compactada de material granular natural ó procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas [9]. De acuerdo con el clima y las condiciones de drenaje, requiere de un permanente y eficiente mantenimiento, consistente en reconformación de calzada eventualmente con adición de material y reconformación de cunetas en tierra.

Según la información suministrada en la página web del INVIAS, en el APU para el departamento de Bolívar [10], los precios por kilómetro lineal son de:

- Aproximadamente \$70.000.000 COP por kilómetro.

5.2 SUELO CEMENTO

Según Eduardo Lavalle [11], es una mezcla de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro y rígido, los porcentajes de cemento son mayores rondando el 10% como valor medio, aunque pueden ser valores superiores hasta el 15% dependiendo de la calidad del suelo. Se usa principalmente como base en los

pavimentos (capa estructural) de carreteras, ya que expuesta al tráfico dada su rigidez presenta fallas de fisuramiento prematuro.

Según el instituto nacional de vías “INVIAS” [10], en el APU para el departamento de Bolívar:

- Aproximadamente \$105.000.000 COP por kilómetro.

5.3 PLACA HUELLA

Una placa huella es un elemento estructural utilizado en las vías terciarias, con el fin de mejorar el tránsito vehicular en terrenos que presentan mal estado de transitabilidad; es recomendable para vías con pendientes mayores al 10%. Para el éxito de los trabajos se debe tener especial seguimiento en el suministro de materiales, fabricación, transporte, colocación, vibrado, curado y acabados de los elementos en concretos utilizados para la construcción de puentes, estructuras de drenaje, muros de contención y estructuras en general, de acuerdo con los planos del proyecto, las especificaciones y las instrucciones del Interventor [12].

Según el instituto nacional de vías “INVIAS” [10], en el APU para el departamento de Bolívar:

- Aproximadamente \$550.000.000 COP por kilómetro.

5.4 LOSAS CORTAS

Son losas de dimensiones menores a las convencionales en pavimentos rígidos, que al reducir su dimensión y distribuir las cargas en varias losas, genera también una reducción del espesor de las mismas.

- Aproximadamente \$440.000.000 COP por kilómetro, basado en el presupuesto puntual para el proyecto del corredor vial del Salado a Carmen de Bolívar.

Partiendo de este análisis económico, se puede observar que las losas cortas son una alternativa bastante favorable para las vías terciarias del país, además su periodo de diseño es generalmente mínimo de 20 años, lo que lo convierte por duración y costo en una de las mejores alternativas.

Adicionalmente, el mantenimiento y reparación de las losas cortas, es muy beneficioso ya que el reemplazo de una losa corta es de un costo mucho menor a una losa convencional, ya que su área puede llegar a ser una cuarta parte y su espesor en algunos casos se reduce hasta un 50%.

6. SEGUIMIENTO REALIZADO AL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RÍO BLANCO – PUERTO CABEZAS, NICARAGUA.

Puerto Cabezas es capital de la Región Autónoma del Atlántico Norte recientemente por Reforma a la Ley N° 59 que trata sobre la división política y administrativa de la República de Nicaragua, aprobada el 21 de junio de 1996, se encuentra ubicado en

la franja costera entre las coordenadas 14 grados 03' latitud norte y los 83 grados 22' longitud oeste [13].

La carretera Río Blanco – Puerto Cabezas (Nicaragua), se encuentra a 7 m.s.n.m. El diseño es para 23.000.000 de Ejes Equivalentes con un módulo de reacción (k) del suelo combinado de 550 MPa/m, con una base estabilizada de 15 cm

El espesor del pavimento obtenido con el método AASHTO 1993 es de 27 cm con losas de 4 m de largo y 3,5 m de ancho y con una resistencia a la flexión de 4.2 MPa sin barras de transferencia de carga. El espesor obtenido en pavimento rígido por el método AASHTO de 27 cm. corresponde en el diseño de losas cortas a 18cm. Para la condición de CBR de 4%, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Conversión del espesor AASHTO a losa corta.

ESPESOR LOSA CONVENCIONAL (cm)	ESPESOR DE LOSA CORTA (cm)		
	CBR 20%	CBR 10%	CBR 4%
30	19	20	22
28	18	19	20
27	16	17	18

Fuente: Adaptado de [13].

En el año 2006 se dio inicio al primer proyecto de losas cortas en Nicaragua, proyecto que conecta Río Blanco con Puerto Cabezas, ver figura 10. Al inicio del proyecto las características de la subrasante eran malas por lo que se realizó la estabilización de la base para lograr un CBR mayor ya que el inicial era de 4% y así poder reducir el espesor de las losas a 15cm [13].



Figura 10. Año 2006. a) Estado inicial de la vía sin pavimentar. b) Estado inicial de la vía en concreto asfáltico.

Fuente: Chávez Arévalo, VII congreso nacional de ingeniería civil. Managua, Octubre 2013 [13].

En el año 2008 se ponen en funcionamiento los primeros 3 kilómetros de la vía de dos carriles como se observa en la figura 11, con un espesor de 15 cm, una base estabilizada de 15cm, módulo de rotura del concreto de 4.2 MPa y dimensiones de 1.8 x 1.8m [13].



Fotografía 11. Año 2008. a-b) Entrega al gobierno de los primeros 3 km. de vía en losas cortas
Fuente: Chávez Arévalo, VII congreso nacional de ingeniería civil. Managua, Octubre 2013 [13].

En el año 2009 se empiezan a reflejar fisuras en las losas de concreto, que no llegan a ser de un espesor mayor a 3mm. Adicionalmente se ponen en funcionamiento 12km del carril derecho de la vía, con las mismas características de diseño que las entregadas en el año 2008, tal como se observa en la figura 12 [12].



Fotografía 12. Año 2009. a) Fisuras superficiales b) Carril derecho de la vía.
Fuente: Chávez Arévalo, VII congreso nacional de ingeniería civil. Managua, Octubre 2013 [13].

En el año 2010 se ponen en funcionamiento 12km del carril izquierdo de la calzada y se evalúan los 12 km del carril derecho, encontrando fisuras superficiales con un espesor máximo de 7mm, lo cual es un buen comportamiento para un pavimento de concreto con 1 año de tránsito. Las únicas intervenciones necesarias para mantener el buen estado de la vía fue realizar sello de fisuras como se puede observar en la figura 13 [13].



a)

b)

Fotografía 13. Año 2010. a) Fisuras superficiales de 7mm b) Carril izquierdo de la vía.

Fuente: Chávez Arévalo, VII congreso nacional de ingeniería civil. Managua, Octubre 2013 [13].

En el año 2011, como se puede observar en las figura 14, las fisuras se empezaron a presentar con un ancho mayor, y fue necesario programar a finales del mismo año el cambio del 5% de las losas, que finalmente se realizó en los primero meses del año 2012 [13].



a)

b)

Fotografía 14. Año 2010. a) Vía en losas cortas b) Carril izquierdo de la vía, fisuras longitudinales.

Fuente: Chávez Arévalo, VII congreso nacional de ingeniería civil. Managua, Octubre 2013.[13]

A finales del mes de noviembre de 2013, se realizó una inspección al pavimento de losas cortas y se encontró que adicional al 5% de la totalidad de las losas que habían sido cambiadas, las losas restantes se han mantenido con sello de fisuras y mantenimiento rutinario, como se puede observar en la figura 15 [13].



Figura 15. Año 2013. a) Estado de la vía a 2013 b) Sello de fisuras en la vía.

Fuente: Chávez Arévalo, VII congreso nacional de ingeniería civil. Managua, Octubre 2013 [13].

7. CONCLUSIONES

Las losas de concreto de tamaño optimizado, introducen a los pavimentos de concreto un nuevo método de diseño que reduce considerablemente el espesor de las losas al tener que soportar menores cargas, ya que cada losa es cargada únicamente por un juego de llantas, lo que genera menores tensiones y menores esfuerzos de alabeo, al ser menores los voladizos de la losa con respecto a su punto de apoyo.

De la evaluación realizada se pudo concluir que la construcción de pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas o losas cortas, tiene incidencia a nivel económico, principalmente por la disminución en el espesor de las losas de concreto y la menor exigencia de capas de apoyo en la construcción. Al comparar las losas de concreto convencionales diseñadas por AASHTO y las losas con dimensiones optimizadas (losas cortas), se observa que se puede alcanzar una reducción de espesores de 4 a 10cm, reduciendo el costo en 20% aproximadamente, si bien cada estructura de pavimento varía dependiendo de las características propias del proyecto.

El proyecto del Salado, da una pauta de inicio en Colombia para la utilización de la metodología de las losas cortas, demostrando que son un 20% más económica que las alternativas más comunes de pavimentación de vías terciarias en el país, con un adicional de vida de diseño y vida útil mucho mayor que el afirmado, la placa huella y el suelo cemento.

Aunque con el método constructivo estructuralmente reduce el espesor del pavimento, queda en observación, ya que aún no es posible establecer la eficiencia del método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto en Colombia, ya que las carreteras que se han construido con dicho método son de construcción reciente, no se tienen mayores registros de su comportamiento, y no han prestado el servicio suficiente para determinar la su funcionalidad.

La carretera Río Blanco – Puerto Cabezas en Nicaragua, es un ejemplo del buen comportamiento de pavimentos construidos bajo la metodología de losas cortas, estructura construida en el año 2008, la cual hasta el 2012 en su mayoría solo requirió mantenimiento rutinario consistente en sello de fisuras y reposición de algunas losas; si bien es cierto que se registró un gran número de losas fisuradas en 4 años de operación , el reemplazo total de losas no superó el 5% de las losas de la carretera, con lo cual se evidencia un aceptable comportamiento estructural y de estabilidad del pavimento construido mediante esta tecnología, que seguramente, en el corto plazo, permitirá a las entidades nacionales encargadas de la red vial del país incrementar considerablemente, en el caso de adoptar esta tecnología los kilómetros pavimentados de la misma con menores costos.

Finalmente, de acuerdo con la experiencia registrada en Nicaragua se puede establecer que los costos de mantenimiento son relativamente bajos y adicionalmente se pueden realizar sin el requerimiento de una gran infraestructura de equipos, plantas de producción (trituradoras, plantas de asfalto) y personal, aspecto bien importante especialmente para zonas del país alejadas de los grandes centros poblados, donde si alguna vez se logra obtener la pavimentación de una vía, normalmente con mezclas asfálticas en caliente, terminan en poco tiempo completamente deterioradas por la falta de un oportuno mantenimiento, trasformando finalmente la relación costo beneficio en algo altamente desfavorable para el Estado y para la comunidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. P. Covarrubias, “losas con dimensiones perfeccionadas para pavimentos de calles, caminos o carreteras y metodología para determinar el diseño de dicha losa”. Chile N° 44820, en EE.UU. N° 7.571.581, y a nivel de la OMPI, N° PCT/EP2006/064732, Diciembre, 2012
- [2] Asocreto. (2015). Alternativas para vías terciarias. Bogotá D.C.
- [3] Covarrubias, J. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada. En: Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 27 N°3. Pp 183-186.
- [4] Eskel Hiller, J. (2007). Development of mechanistic-empirical principles for jointed plain concrete pavement fatigue design. United States. UMI. Pp 33.
- [5] ARA Inc. (2007), Interim Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Manual of Practice. Final Draft. National Cooperative Highway Research Program. Pp 1-37.
- [6] Miner, M. A. (1945). Cumulative damage in fatigue. Journal of applied mechanics, 12. Pp 159–164.
- [7] Covarrubias, J. (2007). Pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas.TCPavments. Pp 3-6.

[8] Instituto Nacional de Vías (2013). Determinación del Índice Internacional de rugosidad (IRI) para Medir la rugosidad de los Pavimentos, Bogotá, Colombia, Impreso Ediciones LTDA. Pp 2.

[9] Repsol. (2000-2015). Glosario de términos. Perú.

[10] INVIAS. (2015) Detalles para Bolivar. Bolivar.

[11] Eduardo de la Fuente Lavalle. (1995). Suelo-Cemento sus usos propiedades y aplicaciones. México. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.

[12] Arellano, D. (2015). Rehabilitación de vías terciarias con el sistema de placa huella. Colombia. Repositorio institucional UMNG. Pp 4.

[13] Chávez, O. (2013). Losas cortas: una experiencia en Nicaragua. VII congreso nacional de ingeniería civil. Universidad Nacional de Ingeniería.